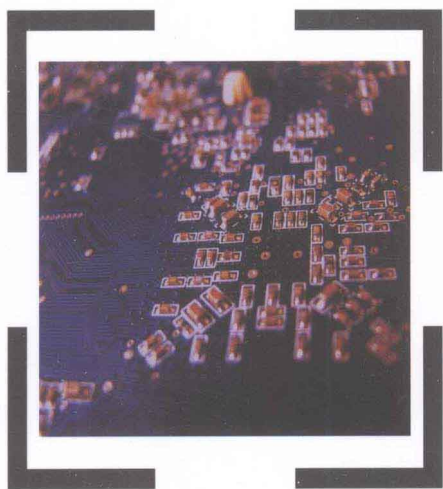


21世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材

Experimental Course of Circuit

电路实验教程



盛孟刚 姚志强

◎ 主编



湘潭大学出版社

21 世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材

电路实验教程

主 编 盛孟刚 姚志强

湘潭大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路实验教程 / 盛孟刚, 姚志强主编. — 湘潭: 湘潭
大学出版社, 2011.8

ISBN 978-7-81128-339-6

I. ①电… II. ①盛…②姚… III. ①电路—实验—
高等院校—教材 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 159348 号

电路实验教程

盛孟刚 姚志强 主编

责任编辑: 王亚兰

封面设计: 胡 瑶

出版发行: 湘潭大学出版社

社 址: 湖南省湘潭市 湘潭大学出版大楼

电话(传真): 0731-58298966 邮编: 411105

网 址: <http://xtup.xtu.edu.cn>

印 刷: 湘潭地调彩印厂

经 销: 湖南省新华书店

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 9

字 数: 213 千字

版 次: 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81128-339-6

定 价: 18.00 元

(版权所有 严禁翻印)

21 世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材

编委会

顾 问：罗和安

主 任：陈小明

副主任：夏智伦 高协平

编委会成员(按姓氏笔画为序)：

朱卫国	刘任任	刘跃进	苏旭平	张 平
张海良	郑金华	钟建新	舒 适	谭援强

总 序

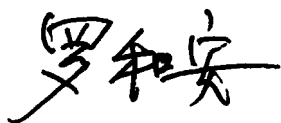
为了提高国家的持续发展能力、综合实力和国际竞争力,党中央、国务院提出构建创新型国家体系、增强自主创新能力的战略,鼓励创造,鼓励创新,特别是鼓励原始创新。创新的关键在人才,人才的成长靠教育。推动教育事业特别是高等教育事业的发展,培养和造就一大批基础扎实、具有创新精神和创新能力的高素质拔尖人才,是构建国家创新体系、建设创新型国家的基础。

正是在这样的背景下,湘潭大学出版社经过精心策划,组织实验教学一线的专家和教师编写了这套“21世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材”。实验教学是培养学生创新能力的基本途径,是培养高素质创新人才教学体系的重要组成部分。目前,对作为连接理论与实践的纽带和激发学生发现问题、研究问题、独立解决问题能力的重要环节——实践教学的研究,还显得相对不足;对如何进一步深化实验教学改革,创新实验教学方法、途径,以更好地发挥实验教学对培养学生创新思维与创造技能的平台作用方面的研究与探讨,尚待深入;已出版的实验教材还比较零散,不成体系和规模,高质量、高水平的实验教材建设与实验教学之间还存在一定的差距。随着科技的发展,各种实验手段、实验仪器不断更新,传统实验教学中的许多范例、方法,既不能体现与学科发展相适应的前沿性,也不能体现与产业相衔接的应用性,使许多实验教材严重滞后于实验教学的现实需要和教学改革的进程。要实现创新人才培养的重要目标,必须重视实验教学;而要实现教学目标,达到好的教学效果,则必须以实验教材为基础,必须有好的实验教材作支撑。因此,湘潭大学出版社出版的这套实验教学改革与创新系列教材就非常有意义。

这套教材最大的特点是融入了许多新的实验教学理念和教学方法,引入了新的实验手段与实验方法,尤其是增加了计算机技术在实验中的应用,有利于激发学生的学习兴趣,增强学生对现代高新技术的了解,具有一定的新颖性和前瞻性。教材范围涵盖了物理、化学、计算机、机械等几大传统学科专业,并注意区分了理科和工科教学过程中各自的侧重,做到

了理工交融,也较好地实现了实践性与理论性、基础性与先进性、基本技能与学术视野、传统教学与开放教学的相互结合。好的实验教材既是实验教学成果的直接反映,也是先进的实验教学理念传播的重要载体。相信湘潭大学社出版的这套系列教材,能够为我们提供有益的借鉴,也相信广大教育理论研究者和教师,在不断推进实验教学改革与创新过程中,一定能够探索出新的经验,推出新的成果,编写出更多的精品教材,进一步推广先进的实验教学理念和教学方法,提升实验教学质量与水平,为培养高素质的创新人才,建设创新型国家作出新的贡献。

是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '罗和安' (Luo He'an). The characters are stylized and fluid, with the first character '罗' being particularly prominent.

2009年3月

前言

随着教学内容和教学方法的不断改革与深化,实验教学越来越受到普遍重视,电路实验是电类专业学生第一门专业基础实验,它不但是专业技术能力的基础,也是学生日后走向社会,从事生产、科研等工作入门的基础。为此编者根据长期的实践教学经验,借鉴相关教材,结合教育改革发展形式的需要,编写了这本以培养基本技能与综合创新能力相结合的电路实验教材。

本教材从教学实际出发,由易到难、由浅入深、循序渐进、系统地进行各种基本技能的训练,注重对学生的能力培养和因材施教。既保留了传统的验证性内容,又增加了综合、设计性要求。实验指导教师可根据学生的实际情况,对实验内容有所取舍。每个实验都编排了思考题,有利于学生把理论知识与实验测试及实验结果有机地结合。在实验预习习题中增设了电路计算机仿真的内容,学生在进行实验前通过计算机仿真,对实验状况有了大概地了解,并正确选用测量仪表的量限,合理选取测量点,事先在计算机上仿真实现设计性实验。

本教材共分5章:第1章介绍了电路实验课程的目的、基本要求及实验故障分析与排除技巧等;第2章介绍了常用的电子元器件,包括电阻器、电容器、电感器的型号命名、功能和指标参数及使用等;第3章简要介绍了电路实验中所用到的测量仪表的基本知识和常用电工测量仪表、仪器的基本原理和使用方法,学生在进入实验室进行实验前,必须通过自学了解上述内容;第4章为仿真软件 Multisim 10 的简介和使用,包括该软件的特点及使用方法,并通过实例指导学生掌握仿真实验操作的步骤和方法;第5章编写了21个不同的经典实验,分别详细介绍了实验目的、实验原理、实验内容及步骤、预习思考题等内容。本实验教材实验内容丰富,学生可根据教学时数,结合自己的能力进行适当调整,通过实验技能的综合训练,提高综合运用知识、分析解决实际问题的能力。本书还编写了一些具有代表性的仿真实验,拓宽了实验和工程设计方法。

本书可作为高等学校电类专业学生的实验指导教材,也可供广大电路电工爱好者参考。

本教材由盛孟刚、姚志强任主编,湘潭大学电工电子实验中心刘奇能副教授对本书的编写给予了多方面的指导并提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢!

由于编者的水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,殷切希望得到读者的批评指正。

编 者

2011年6月

目 录

第1章 绪 论

1.1	电路实验教学课程的目的	1
1.2	电路实验课程的基本要求	1
1.3	电路实验课程的进行方式	2
1.4	实验报告的撰写	3
1.5	实验室的安全操作规则	4
1.6	电路实验中常见故障及其一般排除方法	4

第2章 常用元器件

2.1	电阻器	7
2.2	电容器	10
2.3	电感器	13

第3章 电工测量

3.1	常用电工测量仪表的分类	16
3.2	电工测量仪表的型式	18
3.3	电流的测量	21
3.4	电压的测量	22
3.5	功率的测量	23
3.6	万用表	25

第4章 Multisim 10 简介

4.1	Multisim 10 的主界面	30
4.2	设置电子仿真软件 Multisim 10 的主界面	32
4.3	元件调出方法及元件的连接	34
4.4	虚拟仪器的调用和设置	36
4.5	电路仿真分析实例	45

第 5 章 电路实验项目

实验 1	元件伏安特性的测量	50
实验 2	基尔霍夫定律的验证及电位的研究	55
实验 3	电源的等效变换及理想电源外特性的研究	59
实验 4	戴维宁定理与最大功率传输条件的研究	63
实验 5	受控源的研究	68
实验 6	一阶电路暂态过程的研究	73
实验 7	二阶电路暂态过程的研究	78
实验 8	交流串联电路的研究	83
实验 9	提高功率因数的研究	87
实验 10	RC 网络频率特性的测试	90
实验 11	RLC 谐振电路的研究	96
实验 12	互感线圈电路的研究	99
实验 13	三相电路电压、电流的测量	102
实验 14	三相电路功率的测量	105
实验 15	功率因数表的使用及相序测量	108
实验 16	直流二端口网络的研究	111
实验 17	回转器特性测试	115
实验 18	滤波器设计实验	119
实验 19	非正弦周期电流电路的谐波分析法	124
实验 20	非线性电阻电路的小信号分析法	127
实验 21	电阻温度计电路的设计	130
参考文献		132

第 1 章 绪 论

实验是工科技术和科学研究中的重要组成部分,是教学中进行基本技能训练的重要环节。

1.1 电路实验课程的教学目的

(1)进行基本技能的训练。对一般常用仪器设备,要求能正确地使用和熟练地操作;学会正确地连接电路;掌握基本测量知识和测量方法;掌握检查线路、寻找故障和处理故障的方法;学会电路常用元器件的选用和其参数的测量;培养正确处理数据、绘制曲线、编写实验报告以及独立设计并独立完成简单实验项目的能力,为后续课程进行复杂实验打下基础。

(2)巩固课堂所学的理论知识。通过电路实验以及对现象的观察增强感性认识,并在对理论的验证中更深刻理解理论知识的内涵,进一步巩固课堂所学的理论知识。

(3)培养工程设计和综合测量的能力。通过设计性实验和综合实验的训练,培养工程意识和综合测量能力。

(4)培养科学的工作态度。培养理论联系实际和客观认识事物的能力,以及严谨的科学工作态度。

1.2 电路实验课程的基本要求

(1)能够熟练使用稳压电源、信号发生器、万用表、毫伏表、示波器等常用电子仪器。

(2)熟悉电路中常用元器件的性能和使用方法。

(3)能够根据实验需要,正确选择电路元器件,正确连接实验线路、观察实验现象、调试实验电路、排除简单电路故障。

(4)了解误差理论,学会正确处理数据、绘制实验曲线、分析实验结果和撰写实验报告。

(5)认真研究实验现象,积极思考和讨论实验问题,培养创新能力;同时要有严肃的科学态度,团结协作的团队精神和爱护实验设备设施的良好品德。遵守实验操作规程,注意安全用电。

1.3 电路实验课程的进行方式

1. 课前预习

电路实验教学课程的效果如何,很大程度上取决于预习是否充分。因此,进行下列内容的预习就很有必要性了。

- (1)仔细阅读电路实验指导书,复习有关内容,明确实验原理。
- (2)明确实验目的、实验内容及步骤和操作方法。
- (3)预习有关仪器设备的基本功能、操作方法与使用注意事项。
- (4)画出实验线路和记录表格。

2. 课程进行

良好的工作方法与操作程序,是实验顺利进行、实验效果既好又安全的基本保障。为此,在课程进行中我们应注意下列几点。

(1)检查仪器仪表设备:首先检查本次实验所需的仪器仪表设备和部件是否齐全,仪表的类型和量限是否合适,仪表指针起始位置是否正确,指针摆动是否灵活等。同时记录仪器仪表设备的型号、规格及标号,以便在分析实验结果时,使数据的准确性和可靠性有所依据。

(2)连接线路:

① 电路布局。连接电路前,应首先把仪器设备、元器件布局好,一般以便于操作和读数为原则,并适当考虑与原理电路中的元器件所在位置一致,这样便于检查线路和找准测量点。

② 接线。接线顺序是:先接原理电路中的元器件,然后接仪器设备,最后接电源(接线时,电源处于断开状态)。接线时,应按原理电路先串后并。对于较复杂的电路,可先接好一个回路,再接另一个回路。导线长短要适宜,尽量避免在一个接线柱上有两个以上接头,电表和设备接线柱最好各接一根线,接线松紧要适当。

③ 查线。线路接好后,要仔细地检查,一般从电路后面查起,逐步往前查。不但要检查线路是否连接正确,而且要查接线是否可靠,对于直流仪表要特别注意检查正、负极性是否连接正确。

④ 元器件参数调整。线路接好后,元器件参数要按实验要求进行调整。分压器、自耦变压器的起始位置要调到最安全处(调到零),仪表要调零,仪表要选择合适量程,电源的电压或电流调到实验要求的数值(调电源时,电源不要接入电路)。电源调好后,断电,并把电源接入线路。

上述工作完成,经指导老师检查同意后,方能通电操作。

(3)操作过程:

① 刚通电时,要眼看全局,一切正常才能开始进行实验测量;否则要立即断电并查明原因。

② 操作时要注意观察实验现象,并做记录,以便以后分析讨论。

③ 读数时,目光应正对仪表指针,以免产生误差。一般来说,仪表读数可取三位有效数字,末位数由指针在小格中的位置估计读数;对多量程或不便即刻读数的仪表,先记录格数,

实验完成后再换算。

④ 记录数据要完整、清晰,重测的数据应记在原数据的旁边,或另列表格填写,不要涂改原数据。

(4)人身与设备安全:在操作过程中,要随时注意安全。当电源接通后,不要用手去触摸带电体或仪器的转动部分;改接线路前,必须先断开电源;使用仪器设备时,切忌违反操作规程。还要注意仪器设备的量限和容量。

(5)拆除线路:数据经审查合格后,要先切断电源,再拆除线路,整理仪器仪表设备,清理导线,经老师允许后,方可离开实验室。

1.4 实验报告的撰写

实验结束后,必须及时认真地撰写实验报告。实验报告是实验结果的总结和反映。一个实验的价值,很大程度上取决于实验报告质量的高低。

1. 撰写实验报告的要求

(1)实事求是的科学态度。实验数据与实验结果是对电路进行分析研究的依据。因此,实验取得的资料,如数据、图形等应真实地反映到实验报告中去,不允许更改、抄袭或主观臆断。如果因操作错误使数据违背规律,应当重做实验,重新取得数据。

(2)不断积累深入探索的钻研精神。实验过程是培养实验技能、提高动手能力、增加实践经验的过程。学生应善于总结实验中的经验与不足,整理记录在实验报告中,对后面做好实验提供帮助。

(3)报告形式规范。实验报告应文字流畅,语言准确,书写清楚、整齐,数据完整,图表规范,分析合理,结论有据。

2. 实验报告的主要内容

(1)实验目的。

(2)实验线路。

(3)实验仪器和设备。

(4)实验内容与实验步骤。

(5)测量数据及表格。

(6)分析与讨论。

分析与讨论包括如下内容:数据处理(绘制曲线、归类、误差分析、理论验算等),分析观察到的现象,回答问题,实验体会,对实验的改进意见等。

前四项在实验前的预习中完成,后两项在实验后写实验报告时完成。

实验报告书写要整洁,简明确切。绘制曲线需用坐标纸,要标明曲线名称和坐标的分度,比例要适当。曲线要绘制得光滑,不必强求曲线通过每个实验点,曲线未通过的点,应大致分布在曲线的两侧。曲线的正确绘制如图 1.1(a)所示,不符合要求的曲线如图 1.1(b)所示。

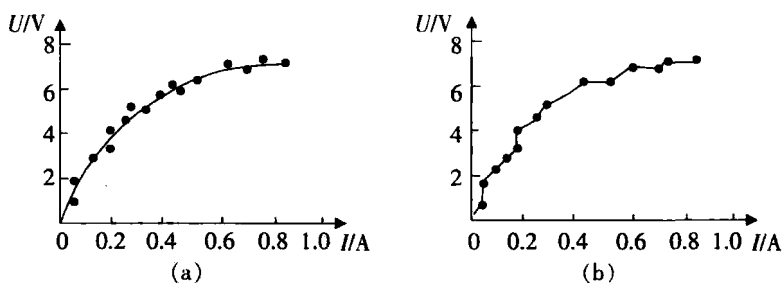


图 1.1 曲线的绘制

1.5 实验室的安全操作规则

在实验中,为了防止仪表和仪器设备的损坏,保证人身安全,实验者必须严格遵守以下安全操作规则:

- (1)熟悉实验室的直流与交流电源,了解其电压、电流的额定值和控制方式,区分直流电源的正负极和交流电源的相线与中性线。
- (2)熟悉仪器仪表的规格、型号、使用方法,特别要注意额定值和量限。
- (3)通电前应通知全组人员有准备后再接通电源。
- (4)实验中不得用手触摸线路中带电的裸露导体。改、拆接线路时应断开电源,电容应用导线短接放电(安全电压 36 V 以下,安全电流 100 mA 以下)。
- (5)发现异常现象,如仪表指针猛跳,有焦臭、冒烟、闪弧及有人触电等,立即切断电源,报告指导老师,查找原因,排除故障。
- (6)实验要规范有序,不要忙乱。应按操作步骤实施实验,与本次实验无关的仪器设备不要乱动。实验完毕后,仪器设备恢复常位,并切断电源。

1.6 电路实验中常见故障及其一般排除方法

对于初学和实验经验还不丰富的实验者来说,实验中出现问题、发生这样或那样的故障在所难免。从某种意义上来说,这并非坏事,相反,可以通过对电路简单故障的分析、排除,逐步提高操作者分析和解决问题的能力。

1.6.1 故障产生的原因

实验中产生故障的原因各种各样,大致可归纳为如下几方面:

1. 仪器设备的连接

- (1)仪器自身工作状态不稳定或损坏;
- (2)仪器超出了正常工作的范围,或调错了仪器旋钮的位置;
- (3)测量线路损坏或接触不良(虚连接或连线内部断线);

(4)仪器旋钮发生松动,偏离了正常的位置。

2. 器件的连接

(1)用错了器件或选错了标称值;

(2)连线出错,导致原电路的拓扑结构发生了改变;

(3)连接线接触不良或损坏;

(4)在同一个测量系统中有多点接地,或随意改变了接地位置;

(5)实验线路布局不合理,电路内部产生干扰。

3. 错误操作

(1)未严格按照操作规程使用仪器。如读取数据前没有先检查零点或零基线是否准确,读数的姿势不当、表针的位置、量程不正确等。

(2)错误地改变了电路结构,使得电路处于不正常工作状态。

(3)采用了不正确的测量方法,选用了不恰当的仪器。

1.6.2 故障分类

1. 开路故障

故障现象为无电压、无电流、指示仪表无偏转、示波器不显示波形等。

2. 短路故障

故障现象为电路中的电流剧增、表指针打弯、熔断器熔断、电路元件冒烟、有烧焦气味等。

3. 其他故障

因元件质量差,或使用年限长、潮湿发霉而引起元件老化变质,导致实验装置工作不正常等。故障现象表现为测试数据与理论数据相差较远。

1.6.3 排除故障的一般方法

在整个实验中,实验者都必须集中精力,保持头脑清醒,充分运用感觉器官,通过仪器仪表的显示状况、气味、声响、温度等异常反应及早发现故障。一旦发现故障或异常现象,应立即切断电源,保持现场,进行正确处理。禁止在原因不明时,胡乱采取处理措施,随意拆除或改动线路,这样会使故障进一步扩大,造成不必要的损失。

下面介绍排除故障的主要方法。

1. 断电观察法

在实验中出现电阻、变压器烧坏,电容器炸裂,电表卡针,电路断线等故障时,通过断电观察往往能很快找出电路损坏部分或发热器件。更换损坏的元器件后,应进一步查对实验电路图,分析损坏器件的原因,彻底排除故障后,才能再次通电。

2. 断电测量电阻法

如果仅凭观察不易发现问题,还可利用万用表的欧姆档逐个测试各元器件是否损坏,插件是否接触不良,导线是否断线或者短路,某器件的电阻值是否发生了变化,电容、二极管是否被击穿等。该类故障多发生在具有高电压、大电流及含有有源器件的电路中。

根据实验原理,电路中某两点应该导通(或电阻极小),而用万用表测出是开路(或电阻很大);或某两点应该是开路(或电阻很大),但测得的结果为短路(或电阻很小),则故障必在

此两点之间。

3. 通电测量电压法

对实验电路施加电源或信号源,利用万用表的电压档测量电源是否有电压。若有电压则继续向后顺序检查各元件、各支路是否有正常电压,这样可以逐步缩小故障出现范围,最后确定故障部位。

4. 信号寻迹法

使用适当频率和振幅的信号源作为测试电压信号,加到实验装置的输入端,利用示波器从信号输入端开始,逐一观测各元器件、各支路是否有正常的电压波形和振幅,从而可观测到反常迹象,找出故障所在。这种方法特别适用于检查电子线路中的故障。

要针对故障类型和实验线路结构情况选择检测方法。如短路故障或电路工作电压较高(200 V 以上),则不宜用通电法检测;而当被测电路中含有微安表、场效应管、集成电路、大电容等元件时,也不宜用断电法(电阻档)检测。因为在这两种情况下,检测方法不当,可能会损坏仪表、元件,甚至触电。有时实验电路中有多种或多个故障,并且相互掩盖或影响,要耐心细致地去分析查找。

第 2 章 常用元器件

元器件是组成电路的基本要素,正确地选择和使用元器件是保证电路良好运行的重要条件。这里主要介绍电阻器、电容器和电感器的结构特点、性能参数及测试方法,使读者能够科学地选用。

2.1 电阻器

电阻器的主要作用是限流、分流、降压、分压、负载、阻抗匹配、阻容滤波等。电阻器是电路元件中应用最广泛的一种。

2.1.1 电阻器的类别

电阻器有多种分类方式,按结构可分为固定电阻器、可变电阻器(电位器)和敏感电阻器;按其材料和工艺可分为膜式电阻、实芯式电阻、金属线绕电阻等。常用电阻器的外形如图 2.1 所示。

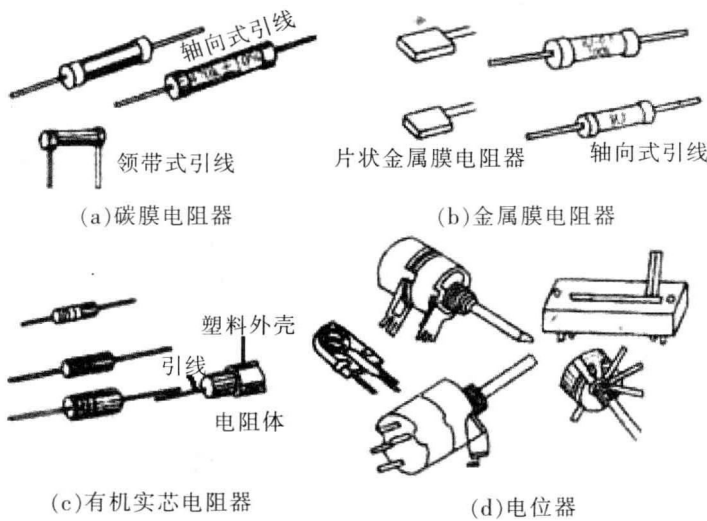


图 2.1 常用电阻器的外形

固定式电阻简称电阻;可变式电阻器分为滑线式变阻器和电位器,常用于调节电路;敏感电阻有光敏电阻、热敏电阻、压敏电阻、气敏电阻等,它们均是利用材料电阻率随物理量变

化而变化的特性制成,多用于控制电路。熔断电阻会因电路达到超负荷时间限制而熔断开路,从而起到保护电路的作用。新型的电阻元件是片状电阻器,也称表面安装元件,是由陶瓷基片、电阻膜、玻璃釉保护层和端头电极组成的无引线结构电阻元件。这种片状的新型元件具有体积小、重量轻、性能优良、温度系数小、阻值稳定及可靠性强等优点,但其功率一般都不大。

2.1.2 电阻器的主要参数

电阻器的主要参数有标称阻值、阻值误差、额定功率、最高工作温度、最高工作电压、噪声、温度特性和高频特性等。通常在选用电阻器时,一般只考虑标称阻值、阻值误差和额定功率等3项。对有特殊要求的电阻器,需要考虑其他指标。

1. 标称阻值

电阻器上所标的阻值即标称阻值。电阻常见的标称阻值有E6、E12和E24系列,分别表示有6个、12个和24个标称值。确定电阻器的标称值的一般原则是按照一定的误差等级从小阻值到大阻值分布。高精度的电阻器则有E48、E96和E192等3个标称值系列。

一般固定式电阻的标称值符合表2-1所列数值或表2-1所列数值乘以 10^n ,其中 n 为整数。这样安排电阻的标称值可以使在任何阻值上选用固定电阻时,相对误差都不会过大,所以标称值不是按等差的办法安排,而是用相等的递增百分数,用等比数列的方法来产生,如表2-1中的E12系列,如从1~10安排12个阻值应该是1.0,1.2,1.5,1.8,2.2,2.7,3.3,3.9,4.7,5.6,6.8,8.2。在这一系列中,两个相邻阻值之间的递增百分数都是21%,因此无论需要什么数值的电阻,相对误差都不会大于递增百分数的一半,即10%。

表 2-1 常用电阻器标称系列

系列代号	电阻器标称值
E24	1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E12	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

2. 阻值误差

阻值误差也称允许误差,阻值误差为电阻器的实际值与标称值的差值除以标称阻值所得的百分数。普通电阻器的误差分为3个等级:阻值误差 $\leq 5\%$,称为Ⅰ级;阻值误差 $\leq 10\%$,称为Ⅱ级;阻值误差 $\leq 20\%$,称为Ⅲ级。误差越小,表明电阻器的精度越高。由于制造技术的发展,电阻器的阻值误差应在 $\pm 5\%$ 以内。

标注电阻器阻值和误差的方法有两种:一是直标法,二是色标法(固定电阻器用)。

直标法是用数字直接标注在电阻上,如图2.2所示;色标法是用不同颜色的色环来表示电阻的阻值和误差,各色环颜色所代表的含义如图2.3所示,色标法表示的单位为欧姆。例如,图2.3(a)中第一色环为红、第二色环为黄、第三色环为绿、第四色环为银,则电阻阻值为 $24 \times 10^3 = 24 \text{ k}\Omega$,阻值误差10%。